

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi  
nanopovlaků**

*Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion  
Nanocoatings*

Student:

Jurásek Zdeněk

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Zdeněk Jurásek**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků  
Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion Nanocoatings

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti povrchu kovového substrátu před aplikací povlaku.
2. Prostudujte princip spojení substrátu s povlakem.
3. Prostudujte tvorbu nanopovlaku.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proved'te experimentální práce a jejich vyhodnocení.
6. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

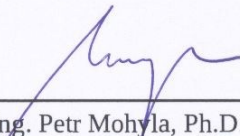
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

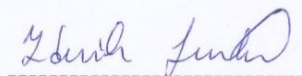
V Ostravě 18. 5. 2014

podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2015

  
-----  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jurásek Zdeněk

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Potoční 2182/17,  
787 01 Šumperk

**ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

JURÁSEK, Z. *Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 44 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se zabývá studiem vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků. V úvodu práce je popsán význam povlaků, základní charakteristiky, vlastnosti a použití nanopovlaků. V teoretické části jsou popsány vlastnosti povrchu kovového substrátu a jeho úpravy před aplikací nanopovlaků. V dalších částech jsou uvedeny principy spojení substrátu s povlakem. Tvorba nanopovlaků a jejich aplikace je popsána v závěru teoretické části. Experimentální část se zabývá zkoušením adheze nanopovlaků, vzorky jsou podrobeny mřížkové a křížové zkoušce a jejich výsledky vyhodnoceny a porovnány. Návrh metodiky prací a jejich vyhodnocení je zpracováno ve formě textu, fotografií a tabulek.

**ANNOTATION OF BACHELOR WORK**

JURÁSEK, Z. *Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion Nanocoatings: Bachelor's Thesis*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 44 pp. Advisor master thesis: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The bachelor thesis deals with study of influence cleanness substrate on adhesion nanocoatings. The introduction describes the meaning of coatings, basic characteristics, properties and applications of nanocoatings. The theoretical part describes the properties of the surface of the metal substrate and its treatment before nanocoatings. The next section discusses the principles of fixed links the between coated and substrate. The formation of nanocoatings and their application is described in the conclusion of this part. The experimental part with deals with nanocoatings adhesion testing, the samples are subjected to grid and cross-examination and is results evaluated and compared. Proposal of the methodology works and their evaluation is presented in the form of photos and spreadsheets.



## OBSAH

<b>Seznam použitých značek a symbolů.....</b>	<b>8</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Povrch materiálu .....</b>	<b>10</b>
1.1. Fyzikální vlastnosti povrchu .....	10
1.2. Geometrické vlastnosti povrchu.....	11
<b>2. Čištění a předběžné úpravy povrchu.....</b>	<b>12</b>
2.1 Mechanické úpravy povrchu substrátu.....	12
2.1.1 Otryskávání .....	13
2.1.2 Omílání.....	14
2.1.3 Broušení a leštění .....	15
2.2 Chemické úpravy materiálu .....	16
2.2.1 Odmašťování.....	16
2.2.2 Moření .....	16
<b>3. Adheze substrátu s povlakem.....</b>	<b>18</b>
<b>4. Tvorba nanopovlaků.....</b>	<b>19</b>
<b>5. Metodika experimentálních prací.....</b>	<b>21</b>
<b>6. Popis a provedení experimentálních prací.....</b>	<b>22</b>
6.1 Výběr, příprava a značení zkušebních vzorků .....	22
6.2 Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287 .....	22
6.3 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3.....	24
6.4 Odmaštění .....	25
6.5 Sušení .....	26
6.6 Aplikace nátěrů .....	27
6.7 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808.....	27
6.8 Zkouška přilnavosti mřížkovou metodou dle ČSN ISO 16276-2 .....	28
6.9 Zkouška přilnavosti křížového řezu dle ČSN ISO 16276-2.....	34
<b>7. Vyhodnocení experimentálních zkoušek.....</b>	<b>39</b>
7.1 Vyhodnocení drsnosti vzorku .....	39
7.2 Vyhodnocení zaprášenosti vzorků .....	39
7.3 Vyhodnocení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému .....	40
7.4 Vyhodnocení zkoušek přilnavosti nátěrového systému .....	40
<b>8. Závěr .....</b>	<b>41</b>



<b>9. Seznam použité literatury.....</b>	<b>42</b>
<b>10. Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>44</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

Veličina	Popis
Ra	střední aritmetická úchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]
lr	základní délka [mm]
Rz	největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Zp	výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Zv	hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rp	největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rq	průměrná kvadratická úchylka profilu
[ $\mu\text{m}$ ]	mikrometr
Rsk	šikmost posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rku	špičatost posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$\lambda_c$	filtr profilu
L	délka měřeného úseku
pH	stupnice kyselosti a zásaditosti
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní norma
T	teplota [ $^{\circ}$ ]
Fe	železo
S	síra
Mn	mangan
C	uhlík
P	fosfor



## Úvod

V oblastech jako je, strojírenský průmysl, chemický průmysl stavebnictví, se ochranné povlaky staly nedílnou součástí dnešního moderního světa. Slouží jako ochrana kovových, ale i nekovových materiálů před nežádoucími vlivy vnějšího prostředí, například koroze nebo, dodání povrchu materiálu určitou zlepšují vlastnost, otěruvzdornost, žáru pevnost, vzhled... Aplikací povrchové úpravy, můžeme také vylepšit vzhled výrobku. Ochranné povlaky mají schopnost zvýšit životnost výrobků a to v řádu několika let. Jako nejčastějším příkladem je uváděn automobilový průmysl, kde je celá část karoserie vozidla opatřena povlakem, který má nejen zlepšit vzhled a také celkové vlastnosti povrchu automobilu, například odolnost proti korozi.

Jednou z nejdůležitějších vlastností povlaku je schopnost přilnout k povrchu chráněného substrátu. Důležitou roli tu hraje technologie přípravy povrchu, před aplikací samotného nátěru. Klíčová je čistota a jeho drsnost. Tyto faktory výrazně ovlivňují adhezi povlaků na substrátu a výrazným způsobem ovlivňují odolnost proti mechanickým vlivům. Z tohoto důvodu je nutné dbát na přípravu povrchu a zajistit tak co nejlepší možnost přilnavosti nátěrů na podkladový materiál.

V minulosti se konstruktéři zabývali spíše funkčností svého výrobku, ale dnes je nutné přijít na trh s něčím, co překoná konkurenci. Proto se do vývoje povlaků vkládají značné finanční prostředky. Jedním z vědních oborů, který se zabývá vývojem povlaků je nanotechnologie. Vědci si stále pokládají otázku, jak vyrobit povlak s lepšími užitnými vlastnostmi. Inspiraci našli v přírodě, kde si všimli, že stékající kapka vody po lotosovém listu, nejen že povrch nenaruší, ale dochází k jeho očištění od prachu a jiných nečistot. Podrobným zkoumáním bylo zjištěno, že povrch listu má zvláštní strukturu, která mu umožňuje kapku odbudit. To to zjištění mělo významný vliv na vývoj nanopovlaků, které svými vlastnostmi překonávají stávající povlaky. Ve vývoji a aplikaci nanopovlaků, vidím budoucnost, která významně zvýší ochranu povrchu materiálu a prodlouží životnost výrobků.

## 1. Povrch materiálu

Před nanášením ochranného povlaku potřebné kvality, musíme nejdříve zajistit, aby povrch substrátu splňoval minimální technologické požadavky čistoty a geometrii povrchu. Povrch substrátu nejčastěji rozdělujeme podle jeho vlastností na tři základní složky.: [1]

1. Fyzikální vlastnosti povrchu
2. Geometrické vlastnosti povrchu
3. Chemické vlastnosti povrchu

### 1.1. Fyzikální vlastnosti povrchu

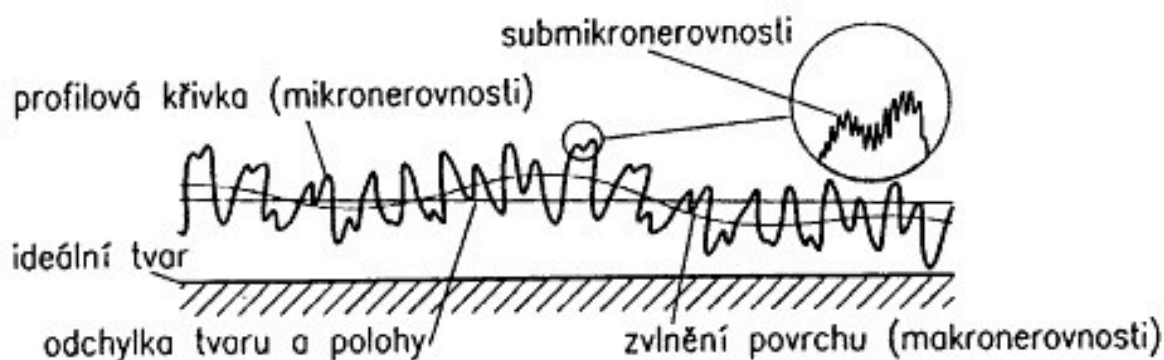
Mezi fyzikální vlastnosti povrchu řadíme emise. Těchto vlastností se dosahuje pouze ve zvláštních podmínkách, kdy se z povrchu kovového substrátu uvolňují elektrony. Uvolnění elektronů dosáhneme buď za vysoké teploty, nebo při vnějším působení elektronů. Emisi můžeme výrazně snížit za pomoci uměle vytvořených zachytných vrstev. Tyto vrstvy se nazývají adsorbční a mají za úkol vytvořit na povrchu kovu příznivé elektrické pole. Dopadovou energii elektromagnetického záření, můžeme rozdělit na tři hlavní složky: [1]

1. Odraženou energii
2. Pohlčenou energii
3. Propustnou energii

Odražená a pohlčená energie se vyznačuje poměrnou odrazivostí a pohltivostí. Poměr těchto dvou délek se mění v závislosti na zkoumaném materiálu a vlivem různých drsností povrchu. Odraz světla na povrchu kovu je možný jen, pokud je povrch plochy hladký. To je takový povrch, jehož nerovnosti jsou minimálně o jeden řád nižší, než je nejkratší vlnová délka dopadajícího světla na povrch substrátu. Pohltivost kovu je vyžadována především u solárních panelů a u technologie zpracování laserem. Propustná energie elektromagnetického vlnění je zanedbatelná, [1]

## 1.2 Geometrické vlastnosti povrchu

Z důvodu maximální přilnavost povlaku k povrchu substrátu, je nutné, aby drsnost a nerovnost ve struktuře dosahovala hodnot daných výrobcem nátěru. Čím menší je poréznost povrchu, tím je lepší odolnost materiálu proti korozi. Při použití jakékoliv technologické metody úpravy, vzniká na povrchu ploch nerovnost, která má velký význam při funkci těchto ploch. [1]



Obr. č. 1 - Základní pojmy geometrie povrchu [1]

## 1.3 Chemické vlastnosti povrchu

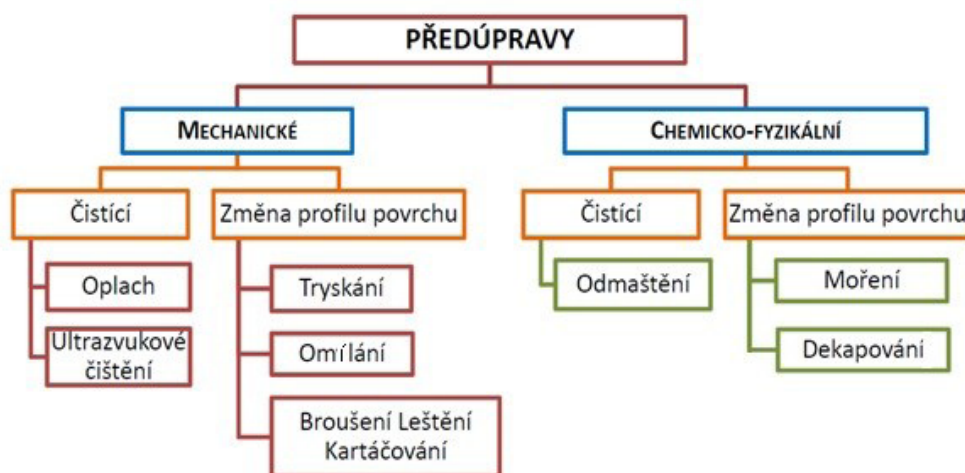
Chemické vlastnosti jsou změny chemického složení nebo oxidačních stavů prvků na mezifázovém rozhraní. Na povrchu pevných látek jde především o rozhraní mezi kapalinami a plyny. [1]

## 2. Čištění a předběžné úpravy povrchu

Povrch kovů je znečištěn různými látkami vázanými k povrchu, je nutné tyto látky odstranit před nanášením povlaku. Přílnavost povlaků je citlivá na čistotu podkladového materiálu. Znečišťující látky dělíme: [1]

1. Mechanicky vázané k povrchu (mastnoty, zbytky past, mazadel, prach apod.)
2. Chemicky vázané k povrchu (oxidy, rez, okuje apod.).

Mechanicky vázané nečistoty odstraňujeme odmašťováním, chemické pak mořením či otryskáváním, broušením, omíláním (obr1). S použitím těchto úprav dostáváme i vhodnou mikro geometrii a mikrostrukturu povrchu. [1]



Obr. č. 2 - Rozdělení předúprav povrchu materiálu. [2]

### 2.1 Mechanické úpravy povrchu substrátu

Mechanické úpravy nám slouží k očištění a úpravě substrátu technikou tryskání, omílání, broušení, leštění, kartáčování. Při použití těchto úprav docílíme: [1]

1. K očištění materiálu od okují
2. Vhodné podmínky pro zakotvení povlaku.
3. Zlepšují se mechanické vlastnosti jako zvýšení pevnosti, meze únavy.
4. Dotváření vzhledu

### 2.1.1 Otryskávání

Jedná se o mechanickou úpravu povrchu, při kterém se tryskáci materiál vrhá proti povrchu součásti. Je to mechanický způsob opracování povrchu substrátu u kterého vzniká změna v povrchových vrstvách při dopadu. Vznikne charakteristická morfologie povrchu. Povrch je dán především tvarem tryskaného materiálu: [1]

1. kulatý – z části se nečistoty zatlačují
2. ostrý – částečně odstraňuje i kov

Na mikro geometrii tryskané součásti má dále vliv tvrdost, hmotnost zrna, druh materiálu, a zrnitost. Na množství úběru má největší vliv: [1]

1. úhel dopadu (čím více kolmo tím větší úběr)
2. rychlost letu
3. tvrdost substrátu

Otryskáci materiály volíme podle druhu materiálu volíme a upravovaného povrchu. Výkon tryskání je úměrný velikosti zrn, tlakem, druhem mat., úhlem a vzdáleností, velikostí trysky. V praxi se jako se tryskáci materiál používají např. broky, skleněné kuličky (balotina), voda, suchý led, drcené slupky ořechů, křemičitý písek, litinová drť, sekaný drát. [1]



*Obr. č. 3 - Otryskáci materiál: sekaný drát a ocelová drť [8]*



Obr. č. 4 - Otryskáci materiál: křemičitý písek [10] a balotina [9]

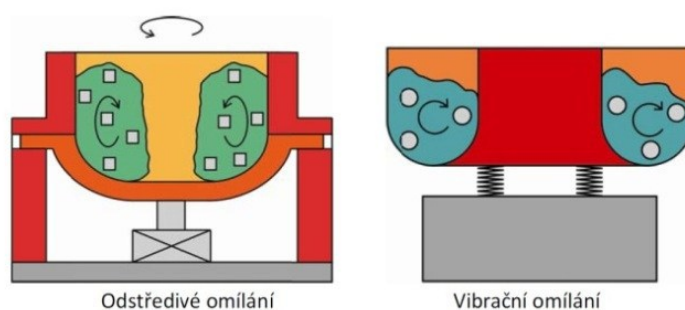
### 2.1.2 Omílání

Jedná se o mechanickou úpravu předmětů malých rozměrů, při kterém dochází k vzájemnému odírání brusných tělísek a obrobků v otáčejícím se bubnu omílacího stroje.

Omílání se používá:

1. Odjehlování a leštění výrobků
2. Odstraňování korozních zplodin
3. Odstraňování zbytků tavidel po svařování
4. Zpevnění povrchu

Podle omílacího stroje můžeme omílání dále dělit na odstředivé a vibrační. [1] [2]



Obr. č. 5 - Odstředivého a vibračního omílání. [2]



### 2.1.3 Broušení a leštění

Broušení se aplikuje nejčastěji jako přípravná operace pro leštění. Tato operace se používá pro odstranění starých nátěrů a jiných nečistot, ale i jako finální úpravy. Leštěním obvykle pokračuje tam, kde broušení končí, proto se dá také velmi obtížně určit hranice mezi těmito dvěma operacemi. Povrch se leští za pomoci leštícího kotouče z bavlny popř. obdobných měkkých tkanin a leštících past. V případě hrubování se využívají kotouče s větší zrnitostí a větší obvodové rychlosti. Pokud chceme povrch spíše vybrousit do hladka, použijeme kotouče s menší zrnitostí a menšími obvodovými rychlostmi. Z tohoto důvodu se také broušení dělí na pět základních skupin úpravy povrchu. [1]

1. Jedná se o hrubování, (zrnitost brusiva 24-80)
2. hlazení, (zrnitost brusiva 100-150)
3. jemné hlazení, (zrnitost brusiva 200-240)
4. předlešťování (zrnitost brusiva 280-320)
5. jemné předlešťování. (zrnitost brusiva 400-600) [1] [2]

Při broušení se používá brusných past a olejů. [1] [2]

### 2.1.4 Kartáčování

Kartáčování se nejčastěji aplikuje při odstraňování starých nátěrů, hrubých nečistot, koroze, atd. Předností této operace je vyčištění prohlubni od nečistot. Používají se kartáče vyrobené z jemných mosazných a ocelových drátů. [1] [2]

1. Ruční kartáčování – Je to jedno z nejjednodušších a nejlevnějších čištění povrchu. Provádí se ocelovým nebo drátěným kartáčem.
2. Strojní kartáčování – Oproti ručnímu kartáčování se jedná o razantnější očištění povrchu. Dochází k viditelnému úběru vystouplých hran především ve spojení s hrubými kotouči. Kotouče mají různá vlákna (fibr, silon, žíně, sisal).



## 2.2 Chemické úpravy materiálu

Jsou to takové úpravy, při kterých na povrchu materiálu vznikne reakce chemických činidel s nečistotami. Patří zde: [1] [2]

3. odmašťování
4. moření

### 2.2.1 Odmašťování

Odmašťování je odstraňování všech druhů ulpělých nečistot z povrchu kovu, které jsou na povrchu vázány buď fyzikální adsorpcí, (oleje) nebo adhezními silami (nečistoty, prach, kovové třísky, apod.). Úkolem odmašťovadel je uvolnit tyto nečistoty z povrchu, převést je do roztoku nebo emulze a zabránit jejich zpětnému vyloučení na povrch materiálu. Podle způsobu použití a druhu rozpouštědel rozdělujeme: [1] [2]

1. Alkalické roztoky
2. Organická rozpouštědla (jsou nahrazovány neutrálními roztoky - podle BOS)
3. Elektrolytické odmašťování
4. Neutrální roztoky
5. Emulzní odmašťování
6. Vysokotlaké kapalinné odmašťování

### 2.2.2 Moření

Moření je odstraňování oxidických nečistot (rez, okuje) z povrchu kovu chemickým způsobem. Reakcí kyselin se oxidy převedou na rozpustné soli, které lze z povrchu opláchnout vodou. Také kyseliny využívají pórů oxidické vrstvy, kterými pronikají až na rozhraní se kovem, kde vodík ve formě bublinek odtrhává oxidickou vrstvu. Vodík také difunduje do oceli a způsobuje křehnutí. Moření dělíme: [1] [2]



1. moření v kyselině sírové
2. moření v kyselině solné
3. moření v kyselině fosforečné

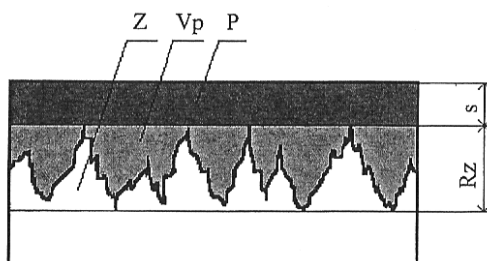
Na konci procesu moření se provádí oplach teplou a studenou vodou. Pro snížení reaktivity povrchu s okolím se provádí pasivace. [1] [2]

### 3. Adheze substrátu s povlakem

Adheze, je schopnost povlaku přilnout k podkladovému substrátu nebo k předešlé nátěrové vrstvě. Vysoká přilnavost k základnímu materiálu, je pro dosažení dlouhodobé ochranné účinnosti povlaku nezbytná. Adheze je závislá na řadě činitelů, mezi které patří čistota a úprava povrchu substrátu. Při nedostatečně přilnavém povlaku k substrátu, dochází rychleji k proniknutí korozního prostředí k podkladu a tím k porušení ochranných vlastností. Podle mechanismu adheze, rozdělujeme: [3]

1. Mechanické zakotvení tekutých částic do základního kovu
2. Uplatnění vzájemného působení fyzikálních sil
3. Chemické spolupůsobení za vzniku chemických vazeb kovalentního typu

Významný vliv na adhezi povlaku k základnímu materiálu má aktivita povrchu vyvolaná silnou deformací povrchových vrstev po otryskávání. Otryskaný povrch je vysoce reaktivní s okolním prostředím, proto je nutné dodržet krátkou dobu mezi otryskáváním a nanášením ochranného povlaku. Přilnavost nátěrů závisí také na jejich tloušťce. Se zvětšením tloušťky dochází vlivem vnitřního pnutí k poklesu adheze. Z tohoto důvodu předepisují normy minimální a maximální tloušťku nanášeného povlaku. Také drsnost povrchu je pro přilnavost důležitá, k hladkému, lesklému povrchu bývá obvykle velmi malá. Avšak vysoká drsnost nemusí vést k dostatečné přilnavosti povlaku a také korozní odolnost povrchu je tím snížena. Při vytváření povlaků na drsném povrchu, je třeba vedle hodnot drsnosti uvažovat i o skutečné velikosti povrchového objemu, který se musí vyplnit, aby se zakryly nejvyšší vrcholky nerovností (Obr. 6). [3]



Obr. č. 6 – Drsnost [3]

$s$  – tloušťka povlaku nad maximální nerovností povrchu [mm],  $V_p$  – povrchový objem [mm<sup>3</sup>],  $P$  – povlak,  $Z$  – základní materiál,  $R_z$  – maximální výška nerovností [mm]

## 4. Tvorba nanopovlaků

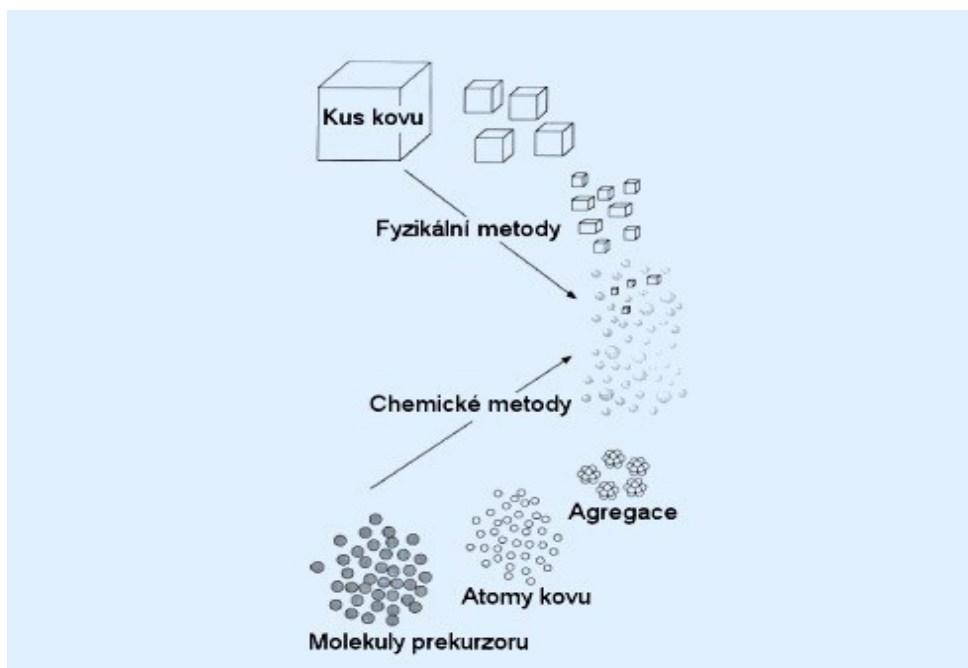
Princip vzniku nanopovlaku:

- Vložením nanočástic do systému, kdy se po jeho aplikaci vlivem chemické reakce s podkladem, vytvoří bariéra - nanovrstva (50 nm), která chrání podklad před korozí.
- Nanočástice jsou vloženy do systému (smícháním s filmotvornou-pojivovou složkou), kde jsou nanočástice rovnoměrně rozptýleny, po aplikaci se vytvoří nanovrstva (20-100 nm). Kvůli shlukování částic, jsou tyto povrchově upraveny (obaleny) obalovadlem, které brání shlukování částic do větších celků.

Nanočástice (nanoprášek) kovů, je ta částice, která má rozměr několika nanometrů, alespoň v jednom rozměru (1-100 nm). Můžeme je vytvořit dvěma způsoby:

1. Vytvoření fyzikální metodou – v praxi se téměř nepoužívá částice jsou  $> 10$  nm.
  - Kondenzace v neutrálním plynu.
  - Těžká plastická deformace.
  - Vysokoenergetické mletí kulovým mlýnem.
  - Ultrazvukové brokování.
2. Vytvoření chemickou metodou – (principem těchto metod, je postupný vznik a růst jednotlivých kovových jader. Jedná se o nejpoužívanější metodu).
  - Redukce v plynné fázi.
  - Elektrochemická metoda.
  - Řízené chemické spolu srážení.
  - Chemická kondenzace.
  - Redukce v kapalně fázi.

Schematicky jsou obě metody znázorněné na (Obr. 7)



Obr. č. 7 - Vytvoření prášku chemicky a fyzikálně. [4]

Výroba kovových nanočástic chemickou cestou, má možnost snadnější kontroly velikosti a tvaru částic, během výroby. Mezi nejvíce rozšířené kovové nanočástice se řadí např. zlato, stříbro, titan, zinek, fosforečnany... [4] [7]

Technologicky prověřený způsob optimálního nanášení nanopovlaků je nástřík. Další možné způsoby nanášení nanopovlaků:

- Štětcem.
- Stěrkou.
- Navalováním.
- Máčením a poléváním.
- Elektrostaticky.

## 5. Metodika experimentálních prací

1. Výběr, příprava a značení zkušebních vzorků.
2. Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287 (drsnoměr Mitutoyo Surf test – 301).
3. Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému (pouze u jedné sady vzorků)
4. Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3.
5. Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému (u dvou sad vzorků).
  - Odmašťování
  - Sušení
6. Aplikace nátěrovým systémem.
7. Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808 .
8. Měření přilnavosti nátěrových systémů .
  - Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2
  - Křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2

## 6. Popis a provedení experimentálních prací

### 6.1 Výběr, příprava a značení zkušebních vzorků

Vzorky Standard jsou dodané firmou LABIMEX CZ s.r.o. Jedná se o vzorky s označením S46 o rozměrech 102 x 152 x 0,8 mm. Vzorky jsou vyrobeny z nízkouhlíkové oceli a její označení je dle firmy LABIMEX CZ s.r.o. - CRS SAE 1008/1010. 6 ks vzorků bylo rozděleno na 3 sady po dvou kusech a očíslovány od 1 až 6. [6]

Tab. č.1– Chemické složení vzorku STANDARD

Chemické složení				
Prvek	C	Mn	P	S
Obsah [%]	max. 0.13	0.25-0.60	0.04	0.05

### 6.2 Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287

Na jednom z šesti vzorků byla změřena drsnost. Drsnost je soubor nerovností povrchu na relativně malé vzdálenosti, které vznikají při výrobě nebo vzniknou jiným způsobem. Důležité parametry: [6]

- Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rz – maximální výška profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rq – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rp – největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rv – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rsk – šikmost posuzovaného profilu,
- Rku – špičatost posuzovaného profilu [-],[6]

Měření drsnosti jsem provedl na dotykovém profilometru SURFTEST 301 od firmy Mitutoyo. (Obr. 8). Tento měřicí přístroj umí vyhodnotit povrchové textury s různými parametry. Získané hodnoty jsou zobrazeny na obrazovce. Na zkoumaném vzorku jsem měření provedl 5x v příčném, a 5x v podélném směru. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky č.2 a č.3. Po té, jsem vypočetl jejich průměrné hodnoty.





Obr. č. 8 – SURFTEST 301 od firmy Mitutoyo.

Tab. č.2 – PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU – podélný směr

Počet měření	PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU - podélný směr. $\lambda_c = 0.8, l = 4$ [mm]							
	Ra[ $\mu$ m]	Rz[ $\mu$ m]	Rq[ $\mu$ m]	Rp[ $\mu$ m]	Rv[ $\mu$ m]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo [mm]
1	0.82	2.97	1.03	2.51	1.84	0.49	2.92	0.805
2	0.91	3.34	1.12	3.03	2.22	0.41	3.11	0.804
3	0.95	3.28	1.16	2.76	2.12	0.36	2.46	0.805
4	0.99	3.43	1.19	2.71	1.98	0.45	2.46	0.804
5	0.97	3.36	1.18	2.67	1.97	0.44	2.80	0.804
Min	0.82	2.97	1.03	2.51	1.84	0.36	2.46	0.804
Max	0.99	3.43	1.19	3.03	2.22	0.49	3.11	0.805
Průměr	0.928	3.276	1.136	2.736	2.026	0.43	2.75	0.804



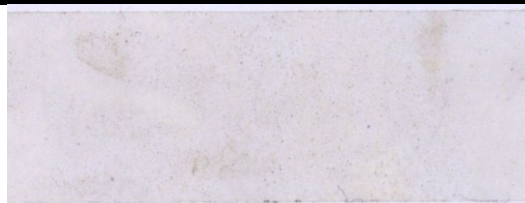

Tab. č.3 – PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU – příčný směr

Počet měření	PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU – příčný směr $\lambda_c = 0.8, l = 4$ [mm]							
	Ra[ $\mu$ m]	Rz[ $\mu$ m]	Rq[ $\mu$ m]	Rp[ $\mu$ m]	Rv[ $\mu$ m]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo [mm]
1	0.94	3.36	1.11	2.40	1.84	0.34	2.15	0.803
2	0.71	3.08	0.92	2.76	1.63	0.67	3.38	0.803
3	0.91	3.05	1.02	2.56	1.90	0.22	2.65	0.802
4	0.88	3.09	1.09	3.16	1.77	0.69	3.25	0.803
5	1.06	3.90	1.33	3.19	2.95	0.48	3.09	0.804
Min	0.71	3.05	0.92	2.40	1.77	0.22	2.15	0.802
Max	1.06	3.90	1.33	3.19	2.95	0.69	3.38	0.804
Průměr	0.9	3.296	1.094	2.814	2.018	0.48	2.904	0.803

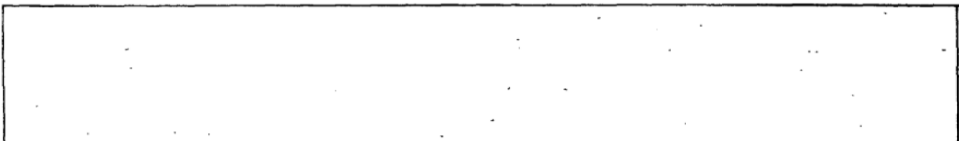
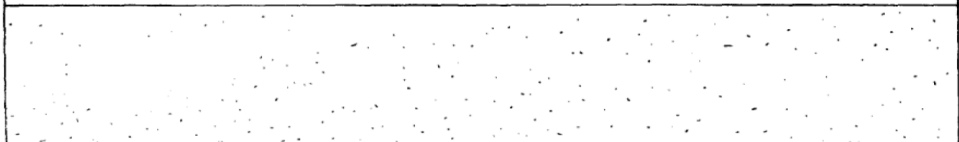
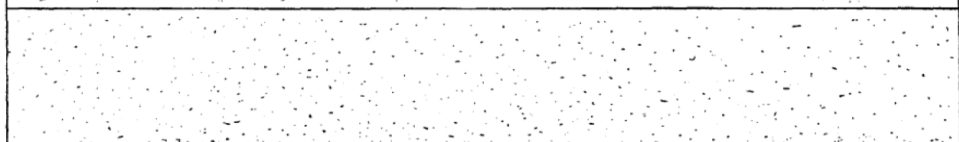
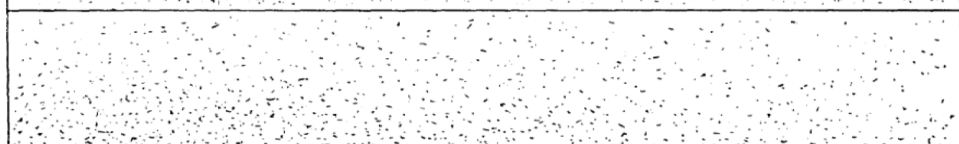
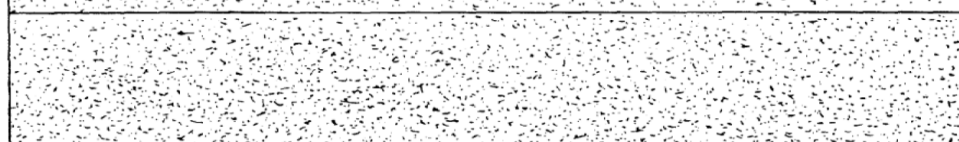
### 6.3 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Před aplikací nátěrového systému, jsem u vzorků č.1 a č.2, stanovil hodnotu zaprášení povrchu, dle normy ČSN ISO 8502-3. K vyhodnocení množství prachu na povrchu vzorků, jsem použil samolepicí adhezní pásku, kterou jsem přilepil na povrch zkušebních vzorků. Pásku jsem přitlačil k povrchu a pomalým pohybem pod úhlem 180° strhnul. Poté jsem pásku nalepil na kontrastní papír a za pomoci lupy vyhodnotil, množství a velikost zachyceného prachu na pásce. Zjištěné hodnoty jsem porovnal s referenční tabulkou č.5 a č.6 a stanovil množství prachu a velikosti částic na povrchu vzorků. Výsledek zkoušky jsem zapsal do tabulky č.4.

Tab. č.4 – Zkouška zaprášenosti vzorků.

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ ZAPRÁŠENÍ	VELIKOST PRACH. ČÁSTIC
Zaprášený č. 1 1 Zkouška		4	3
Zaprášený č. 1 2 Zkouška		3	2
Zaprášený č. 2 1 Zkouška		3	2
Zaprášený č. 2 2 Zkouška		2	1
Průměrné hodnocení		3	2

Tab. č.5 – Referenční tabulka zaprášenosti. [6]

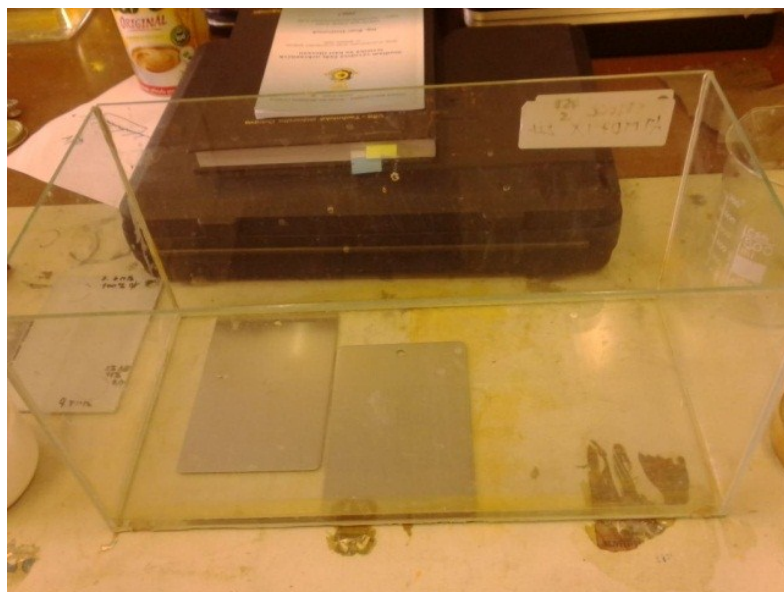
	<b>1</b>
	<b>2</b>
	<b>3</b>
	<b>4</b>
	<b>5</b>

Tab. č.6 – Referenční tabulka: Třídy velikosti prachových částic [6]

TŘÍDA	POPIS PRACHOVÝCH ČÁSTIC
0	Částice neviditelné při zvětšení 10x
1	Částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem
2	Částice již viditelné prostým okem
3	Částice jasně viditelné prostým okem
4	Částice mezi 0,5 mm až 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru

## 6.4 Odmaštění

Odmaštění vzorků č. 3 až č.6 jsem provedl v odmašťovadle SIMPLE GREEN. Tento odmašťovací prostředek jsem naředit v poměru 1:150 (PH 9,14) pro vzorky č.3 a č.4 a pro vzorky č.5 a č.6 jsem zvolil poměr 1:10 (PH 10,42). Odmašťovadlo se ředilo se studenou vodou o teplotě 23 °C z vodovodního kohoutku. Tyto směsi jsem nalil do kádinek. Odmaštění vzorků jsem provedl ponorem a za občasného víření směsi (Obr. 9). Po 10 minutách jsem vzorky z lázni vyjmul a opláchnul. Oplach jsem provedl dvakrát pod tekoucí studenou vodou.



*Obr. č.9 – Odmaštění jednoho páru vzorku*

## 6.5 Sušení

Ihned po oplachu, byly očištěné vzorky vloženy na 15-20 minut do sušící pece, Pec byla vyhřátá na teplotu 100 °C.

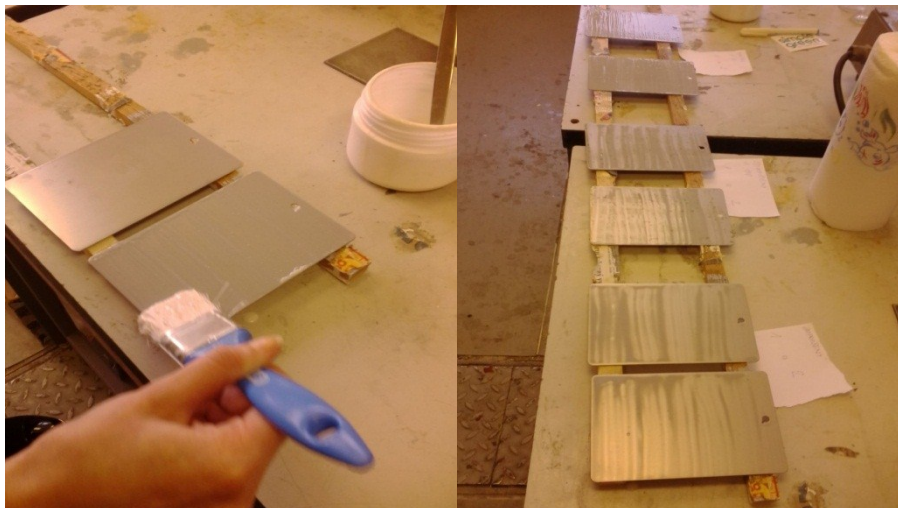


*Obr. č.10 – Sušící pec SN30/4 o příkonu 3 KW*



## 6.6 Aplikace nátěrů

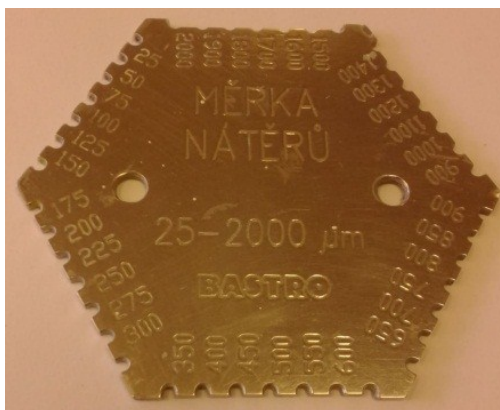
Po vychladnutí, jsem na povrch všech vzorků č.1 až č.6, nanесl transparentní, vodou ředitelný nátěr, s obsahem nanočástic. Nanášení nátěrového systému, jsem provedl štětcem, s požadovanou tloušťkou mokré vrstvy 125-150 mikrometru (Obr. 11). Tloušťku mokré vrstvy jsem kontroloval hřebenovou měrkou dle ČSN EN ISO 2808.



*Obr. č. 11 – Aplikace nátěru*

## 6.7 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808

Tloušťku mokré vrstvy jsem kontroloval hřebenovou měrkou (Obr. 12), v průběhu nanášení jednotlivých vrstev nátěrů. Kontrola se provedla dle ČSN EN ISO 2808. Poslední nanesená vrstva měla rozměr 125-150 mikrometrů.



*Obr. 12. – Hřebenová měrka od firmy BASTRO*

Na změření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému, jsem použil digitální přístroj ELCOMETER 456. Toto zařízení pracuje na principu přijímání odražených magnetických vln od kovového povrchu. Změřená hodnota se objeví na displeji, krátce po dotknutí čidla měřeného povrchu. (Obr. 13). Na každém vzorku jsem měření provedl 10x. Výsledky jsem zaznamenal do tabulky č.7.



Obr. 13. – Měřicí přístroj ELCOMETER 456

Tab. č.7 – Tloušťka suché vrstvy

Vzorek	Nejnižší hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	Nejvyšší hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrná hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	Počet měření
Zaprášený 1	15.6	50.0	32.92	10
Zaprášený 2	13.8	37.7	24.25	10
Očištěný 1:150 3	17.4	45.2	26.88	10
Očištěný 1:150 4	20.6	41.1	29.49	10
Očištěný 1:10 5	18.0	32.3	24.29	10
Očištěný 1:10 6	14.0	46.7	24.91	10

## 6.8 Zkouška přilnavosti mřížkovou metodou dle ČSN ISO 16276-2

Pro hodnocení přilnavosti byla, použita mřížková metoda dle ČSN ISO 1627-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409. Do nátěrů všech vzorků jsem zhotovil za pomoci řezného nástroje s šesti noži, řez a poté řezný nástroj otočil o 90° a provedl opět stejný řez. Řezy musí proniknout až na základní materiál (Obr. 14). Po té, jsem nařezané vzorky očistil čistým měkkým štětcem. Na vzniklé řezy ve tvaru čtverce jsem nalepil průhlednou lepicí pásku, kterou jsem uhladil a pod úhlem 60° sejmul. Podle utkvělé barvy na vzorku a na odtržené pásce, jsem výsledek vizuálně porovnal z referenční tabulkou č.8. Příslušné

stupně poškození vzorků jsem zanesl do tabulky č.9. Na každém vzorku jsem provedl tři zkoušky.



*Obr. 14. - Ukázka postupu výroby mřížky*

Síla vrstvy nátěrů nám určuje rozestupy jednotlivých řezů a tím i velikost nařezaných čtverců.

Vzdálenost jednotlivých řezů:

- 121  $\mu\text{m}$  až 250  $\mu\text{m}$  – vzdálenost řezů 3 mm, pro tvrdé i měkké podklady
- 61  $\mu\text{m}$  až 120  $\mu\text{m}$  – vzdálenost řezů 2 mm, pro tvrdé i měkké podklady
- Do 60  $\mu\text{m}$  - vzdálenost řezů 2 mm, pro měkké podklady
- Do 60  $\mu\text{m}$  - vzdálenost řezů 1 mm, pro tvrdé podklady [6]

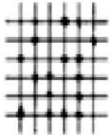
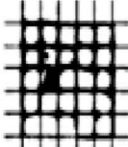
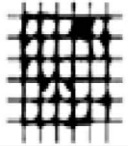
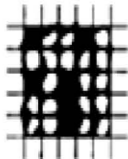
Šířka šesti ostří je:

- 5 mm u nástroje, který má ostří od sebe vzdálená 1 mm
- 10 mm u nástroje, který má ostří od sebe vzdálená 2 mm



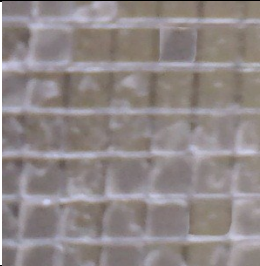

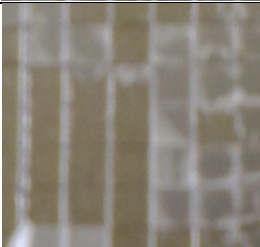

V Referenční porovnávací tabulce, je uvedeno šest základních klasifikačních stupňů. Pro obecné účely jsou využívány první tři stupně. [6]





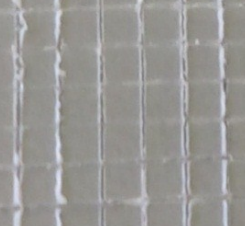
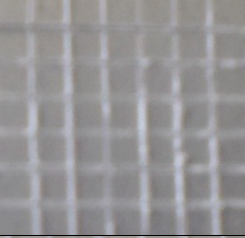

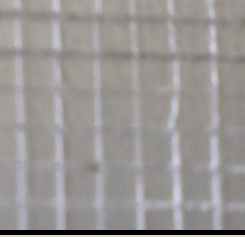
Tab. č.8 – Referenční porovnávací tabulka mřížkového řezu [6]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování
0	Hrany řezů jsou hladké, žádný čtverec není poškozen	-
1	Poškození menší než 5%	
2	Povlak se odlupuje podél řezů nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha větší než 5%	
3	Poškození je větší než 15%, ale menší než 35%	
4	Poškozená plocha je větší než 35%, menší než 65%	
5	Stupeň odlupování, který není klasifikovaný ani stupněm 4	-


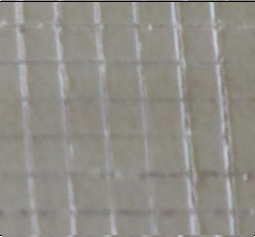

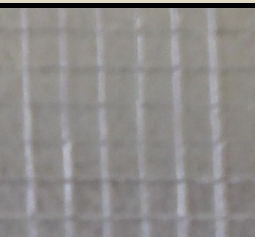


Tab. č.9 – Výsledek zkoušky mřížkového řezu

VZOREK 1 neodmaštěn	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
Zkouška 1		2
Zkouška 2		3
Zkouška 3		4
VZOREK 2 neodmaštěn	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
Zkouška 1		3
Zkouška 2		4
Zkouška 3		2
Průměrný stupeň poškození		3

Tab. č. 9 – Výsledek zkoušky mřížkového řezu

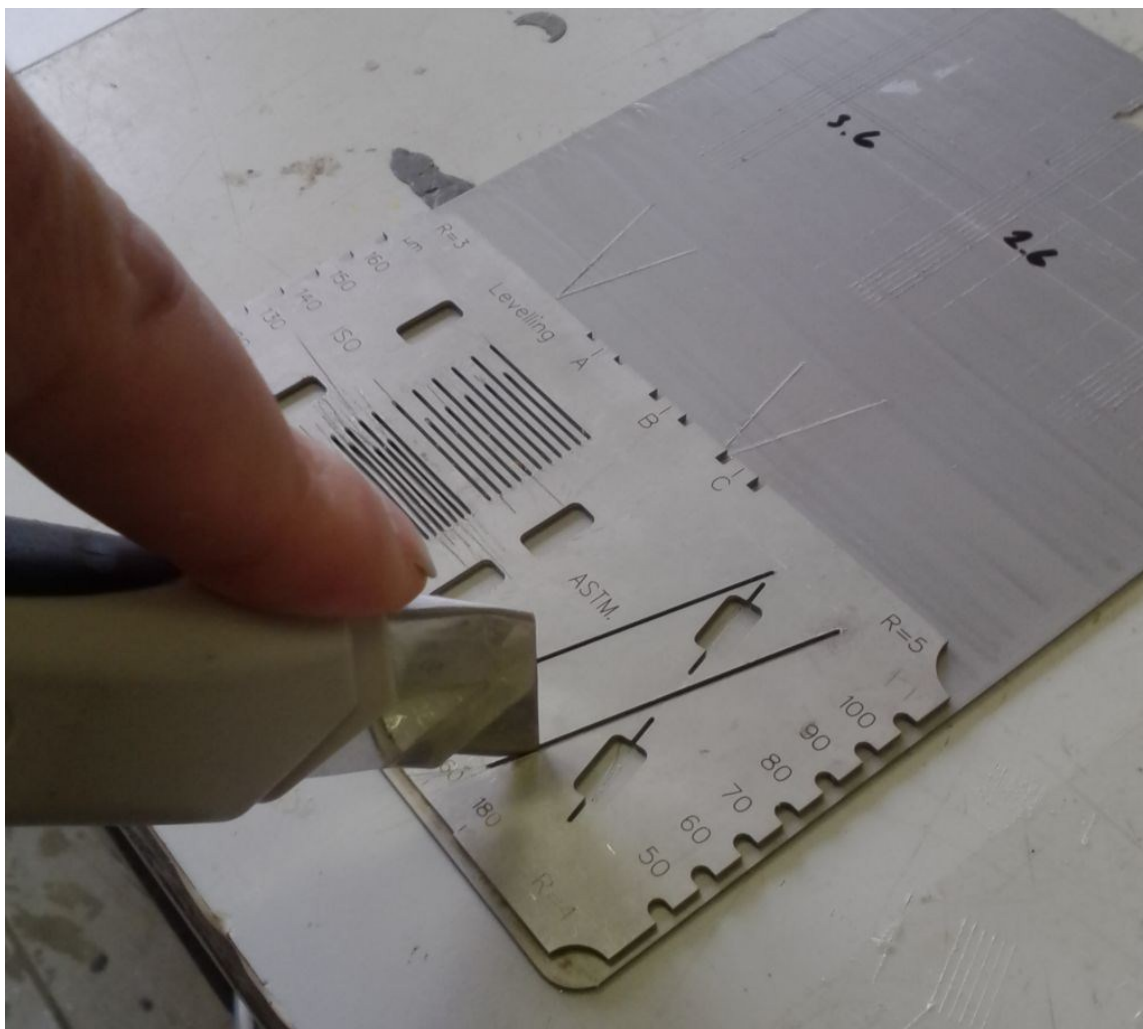
<b>VZOREK 3 1:150</b>	<b>FOTODOKUMENTACE</b>	<b>STUPEŇ POŠKOZENÍ</b>
Zkouška 1		1
Zkouška 2		4
Zkouška 3		1
<b>VZOREK 4 1:150</b>	<b>FOTODOKUMENTACE</b>	<b>STUPEŇ POŠKOZENÍ</b>
Zkouška 1		1
Zkouška 2		3
Zkouška 3		1
Průměr stupně poškození		1.83 (2)

Tab. č. 9 – Výsledek zkoušky mřížkového řezu

<b>VZOREK 5 1:10</b>	<b>FOTODOKUMENTACE</b>		<b>STUPEŇ POŠKOZENÍ</b>
Zkouška 1			0
Zkouška 2			0
Zkouška 3			0
<b>VZOREK 6 1:10</b>	<b>FOTODOKUMENTACE</b>		<b>STUPEŇ POŠKOZENÍ</b>
Zkouška 1			0
Zkouška 2			1
Zkouška 3			0
Průměr stupně poškození			0.17 (0)







## 6.9 Zkouška přilnavosti křížového řezu dle ČSN ISO 16276-2

Další zkouškou přilnavosti nátěru, je zkouška křížovým řezem. Na vzorcích č.5 a č.6 jsem nástrojem s jedním ostřím, udělal podle šablony dva řezy ve tvaru písmena „X“. Délka jednotlivých řezů musí být 40 mm. Úhel, který oba řezy svírají, se pohybuje v rozmezí 30° až 45°, (Obr. 15). Výsledek řezu jsem očistil čistým měkkým štětcem. Na takto vytvořené „X“ jsem přilepil lepicí pásku, uhladil a pod úhlem 60° sejmul. Podle utkvělé barvy na vzorku a na odtržené pásce, jsem výsledek vizuálně porovnal z referenční tabulkou č.10. Příslušné stupně poškození vzorků jsem zanesl do tabulky č.11. Na každém vzorku jsem provedl tři zkoušky. Křížový řez se neomezuje tloušťkou nátěru.




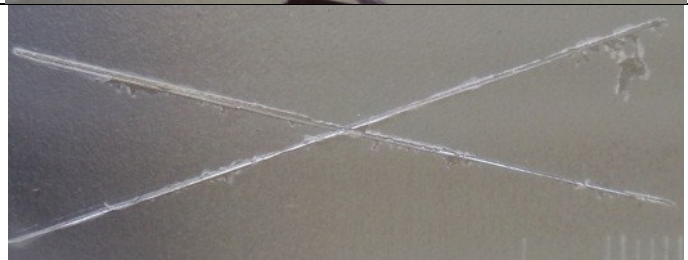
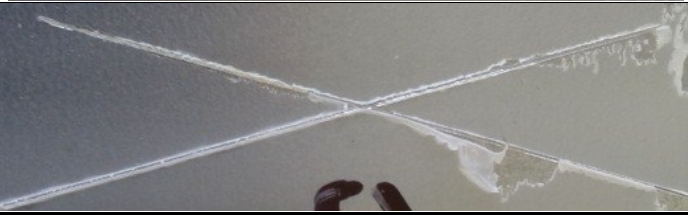



Obr. 15. – Ukázka postupu výroby křížového řezu

Tab. č.10 – Porovnávací tabulka křížového řezu [6]

 <p><b>Stupeň 0</b> Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.</p>	 <p><b>Stupeň 1</b> Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečiku.</p>
 <p><b>Stupeň 2</b> Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.</p>	 <p><b>Stupeň 3</b> Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
 <p><b>Stupeň 4</b> Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	 <p><b>Stupeň 5</b> Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>


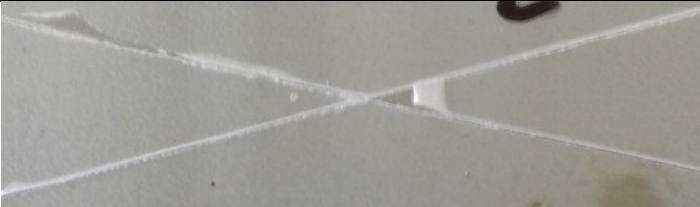

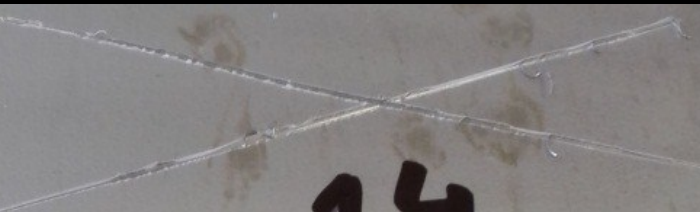




Tab. č.11 – Hodnocení výsledků křížového řezu

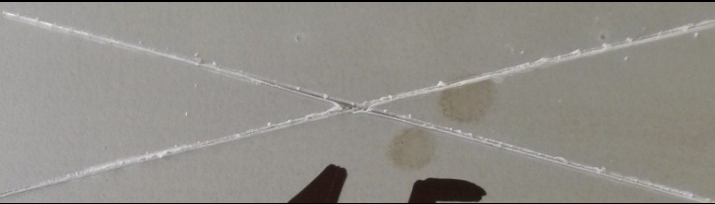
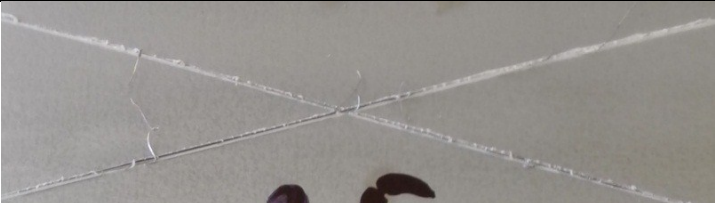
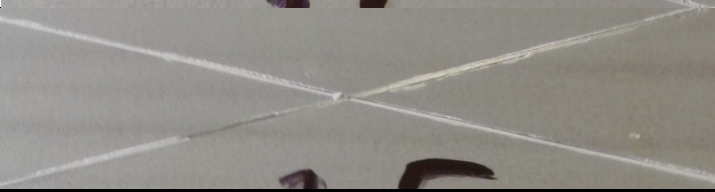
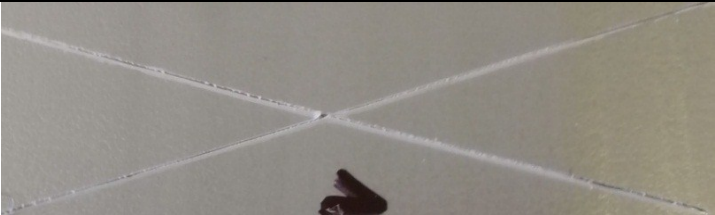
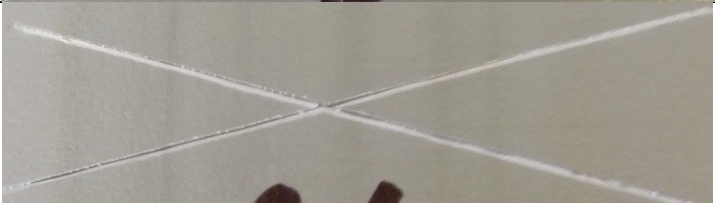
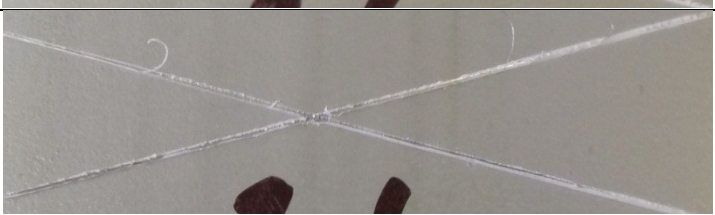
VZOREK 1 neodmaštěn	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
Zkouška 1		4
Zkouška 2		2
Zkouška 3		3
VZOREK 2 neodmaštěn	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
Zkouška 1		5
Zkouška 2		4
Zkouška 3		0
Průměrný stupeň poškození		3



Tab. č.11 – Hodnocení výsledků křížového řezu

<b>VZOREK 3 1:150</b>	<b>FOTODOKUMENTACE</b>	<b>STUPEŇ POŠKOZENÍ</b>
Zkouška 1		1
Zkouška 2		3
Zkouška 3		2
<b>VZOREK 4 1:150</b>	<b>FOTODOKUMENTACE</b>	<b>STUPEŇ POŠKOZENÍ</b>
Zkouška 1		2
Zkouška 2		3
Zkouška 3		1
Průměrný stupeň poškození		2

Tab. č.11 – Hodnocení výsledků křížového řezu

VZOREK 5 1:10	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
Zkouška 1		1
Zkouška 2		0
Zkouška 3		0
VZOREK 6 1:10	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
Zkouška 1		0
Zkouška 2		0
Zkouška 3		0
Průměrný stupeň poškození		0.17 (0)

## 7. Vyhodnocení experimentálních zkoušek

### 7.1 Vyhodnocení drsnosti vzorku

Průměrné hodnoty z měření drsnosti dle ČSN EN ISO 4287 vzorku č.1, jsou zapsány do tabulky č.12, i s max. a min. hodnotami.

Tab. č.12 – Průměrné hodnoty drsnosti vzorků - podélný a příčný směr

Počet měření	PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU - podélný směr $\lambda_c = 0.8, l = 4$ [mm]							
	Ra[ $\mu$ m]	Rz[ $\mu$ m]	Rq[ $\mu$ m]	Rp[ $\mu$ m]	Rv[ $\mu$ m]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo mm]
Min	0.82	2.97	1.03	2.51	1.84	0.36	2.46	0.804
Max	0.99	3.43	1.19	3.03	2.22	0.49	3.11	0.805
Průměr	0.928	3.276	1.136	2.736	2.026	0.43	2.75	0.8044
Počet měření	PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU – příčný směr $\lambda_c = 0.8, l = 4$ [mm]							
	Ra[ $\mu$ m]	Rz[ $\mu$ m]	Rq[ $\mu$ m]	Rp[ $\mu$ m]	Rv[ $\mu$ m]	Rsk[-]	Rku[-]	Rlo mm]
Min	0.71	3.05	0.92	2.40	1.77	0.22	2.15	0.802
Max	1.06	3.90	1.33	3.19	2.95	0.69	3.38	0.804
Průměr	0.9	3,296	1.094	2.814	2.018	0.48	2.904	0.803

### 7.2 Vyhodnocení zaprášenosti vzorků

Průměrné hodnoty z měření zaprášenosti a velikosti prachových částic dle ČSN ISO 8502-3 vzorku č.1 a č.2, jsou zapsány v tabulce č.13 .

Tab. č.13 – Průměrné hodnoty zaprášenosti vzorků

Hodnoty z měření zaprášenosti				
Zkouška	Vzorek 1 Zkouška 1	Vzorek 1 Zkouška 2	Vzorek 2 Zkouška 1	Vzorek 2 Zkouška 2
Hodnocení	4	3	3	2
Průměr	3			
Velikosti prachových částic				
Zkouška	Vzorek 1 Zkouška 1	Vzorek 1 Zkouška 2	Vzorek 2 Zkouška 1	Vzorek 2 Zkouška 2
Hodnocení	3	2	2	1
Průměr	2			

### 7.3 Vyhodnocení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému

Dle ČSN EN ISO 2808 byly naměřeny tloušťky jednotlivých vrstev nátěrového systému. Průměrné hodnoty z měření mokré a suché vrstvy povlaků u vzorků č.1 až č.6, jsou zapsány v tabulce č.14.

*Tab. č.14 – Průměrné hodnoty mokré a suché vrstvy nátěrového systému*

Vzorek	Průměrná tloušťka mokré vrstvy [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrná tloušťka suché vrstvy [ $\mu\text{m}$ ]
1. až 6.	130	27.12

### 7.4 Vyhodnocení zkoušek přilnavosti nátěrového systému

Výsledky mřížkové a křížové zkoušky dle ČSN ISO 16276-2 byly zapsány do tabulky č.15.

*Tab. č.15 – Průměrné hodnoty výsledků zkoušek přilnavosti nanopovlaků.*

Vzorek		Zkouška mřížková	Zkouška křížová
Zaprášený	1+2	3	3
Očištěný 1:150	3+4	2	2
Očištěný 1:10	5+6	0	0

## 8. Závěr

Ve své bakalářské práci se zabývám studiem vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaku. Bakalářská práce je rozdělena do dvou základních částí, a to do části teoretické a experimentální.

Úkolem teoretické části, bylo prostudovat vlastnosti povrchu substrátu, popsat princip adheze a tvorbu povlaku. V první části, byly popsány vlastnosti povrchu kovového substrátu a jeho úpravy před aplikací nanopovlaků. V další části, byl popsán princip spojení substrátu s povlakem. Posledním úkolem teoretické části, bylo prostudování tvorby nanopovlaků.

Experimentální část se zabývá adhezí povlaků na podkladový substrát. V této části je popsán způsob metodiky experimentální práce a jejího následného vyhodnocení. Práce je zaměřena na zkoušení adheze nátěrového systému s obsahem nanočástic. Podkladový materiál, na který byl tento systém zkoušen, je vzorek Standard dodané firmou LABIMEX CZ s.r.o o rozměrech 102 x 152 x 0,8 mm z nízkouhlíkové oceli. U těchto vzorků bylo před aplikací nátěrového systému, provedeno označení, stanovení drsnosti, hodnocení zaprášení, odmašťování a sušení povrchu. Po aplikaci nátěrového systému, byla stanovena tloušťka mokrého i suchého povlaku. Dále byla provedena zkouška přilnavosti nátěrového systému a to mřížkovou zkouškou a křížovým řezem.

Průměrná drsnost vzorku č.1 (viz. Tab.12). Průměrná tloušťka mokrého nátěru byla 130  $\mu\text{m}$  a suchého nátěru 27.12  $\mu\text{m}$ . Nátěrový systém nanesený na vzorku č.5 a č.6 vykázal vysokou kvalitu adheze a u obou zkoušek přilnavosti byl vyhodnocen stupně poškození 0. Naopak vzorek č.1 a č.2 vykázal nízkou kvalitu přilnavosti nátěrového systému a byl u obou zkoušek přilnavosti ohodnocen stupněm poškození 3. Adheze u vzorku č.3 a č.4, byla ohodnocena stupně poškození 2. Z výsledků zkoušek vyplývá, že čistota podkladového substrátu, výrazným způsobem ovlivňuje adhezi povlaku.

## 9. Seznam použité literatury

- [1] MOHYLA, Miroslav: *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] KREIBICH, Viktor: *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: ČVUT Praha, 1999. 89 s.
- [3] FILIPOVÁ, M: *Studium vlivu povrchové úpravy podkladového materiálu na vlastnosti aplikovaných povlaků: doktorská disertace*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava Fakulta trojní, 2006. 150 s.
- [4] ŘEZANKA, Pavel; ZÁRUBA, Kamil; KRÁL, Vladimír: *Potenciál modifikovaných nanočástic v analytické chemii*. [online]. [cit.2015-04-04]. Dostupné na WWW. [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007\\_11\\_881-885.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_11_881-885.pdf)
- [5] HALTMAR, Petr: *Studium úpravy povrchu před aplikací nátěrového systému*. Ostrava: 2007, 18 s. Soutěžní práce na VŠB-TU Ostrava na katedře mechanické technologie.[cit.2015-04-04]. Dostupné na WWW. <http://hdl.handle.net/10084/61627>
- [6] PAVELKOVÁ, Daniela: *Konzervační schopnost povlaků aplikovaných na materiály hutní produkce pro krátkodobou protikorozi ochranu* Ostrava: VŠB- TU Ostrava Fakulta trojní, 2013. 159 s.
- [7] NYKL, Aleš: *Studium transparentních nanopovlaků pro aplikaci na ocelový substrát* Ostrava: VŠB - TU Ostrava Fakulta trojní, 2011. 81 s.
- [8] Idda [online]. poslední revize 28.04.2015 <http://www.idda.cz/oceloved.htm>  
<http://www.idda.cz/drat.htm>
- [9] Tryskaci-materialy [online]. poslední revize 28.04.2015  
<http://tryskaci-materialy.cz/produkty/balotina/>



- [10] Flexiobklady.cz [online]. poslední revize 28.04.2015  
<http://www.flexiobklady.cz/produkty-pisek-prirodni.php>



## 10. Seznam obrázků a tabulek

- Obrázek č. 1 – Základní pojmy geometrie povrchu – str. 11
- Obrázek č. 2 – Rozdělení předúprav povrchu materiálu – str. 12
- Obrázek č. 3 – Otryskáci materiál: sekaný drát a ocelová drť – str. 13
- Obrázek č. 4 – Otryskáci materiál: křemičitý písek a balotina – str. 14
- Obrázek č. 5 – Odstředivého a vibračního omílání – str. 14
- Obrázek č. 6 – Drsnost – str. 18
- Obrázek č. 7 – Vytvoření prášku chemicky a fyzikálně – str. 20
- Obrázek č. 8 – SURFTEST 301 od firmy Mitutoyo – str. 23
- Obrázek č. 9 – Odmaštění jednoho páru vzorku – str. 26
- Obrázek č. 10 – Sušicí pec SN30/4 o příkonu 3 KW – str. 26
- Obrázek č. 11 – Aplikace nátěru – str. 27
- Obrázek č. 12 – Hřebenová měrka od firmy BASTRO – str. 27
- Obrázek č. 13 – Měřicí přístroj ELCOMETER 456 – str. 28
- Obrázek č. 14 – Ukázka postupu výroby mřížky – str. 29
- Obrázek č. 15 – Ukázka postupu výroby křížového řezu – str. 34
- Tabulka č. 1 – Chemické složení vzorku STANDARD – str. 22
- Tabulka č. 2 – PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU – podélný směr – str. 23
- Tabulka č. 3 – PARAMETRY DRSNOSTI VZORKU – příčný směr – str. 23
- Tabulka č. 4 – Zkouška zaprášenosti vzorků – str. 24
- Tabulka č. 5 – Referenční tabulka zaprášenosti – str. 25
- Tabulka č. 6 – Referenční tabulka: Třídy velikosti prachových částic – str. 25
- Tabulka č. 7 – Tloušťka suché vrstvy – str. 28
- Tabulka č. 8 – Referenční porovnávací tabulka mřížkového řezu – str. 30
- Tabulka č. 9 – Výsledek zkoušky mřížkového řezu – příčný směr – str. 31, 32, 33
- Tabulka č. 10 – Porovnávací tabulka křížového řezu – str. 35
- Tabulka č. 11 – Hodnocení výsledků křížového řezu – str. 36, 37, 38
- Tabulka č. 12 – Průměrné hodnoty drsnosti vzorků - podélný a příčný směr – str. 39
- Tabulka č. 13 – Průměrné hodnoty zaprášenosti vzorků – str. 39
- Tabulka č. 14 – Průměrné hodnoty mokré a suché vrstvy nátěrového systému – str. 40
- Tabulka č. 15 – Průměrné hodnoty výsledků zkoušek přilnavosti nanopovlaků – str. 40



## **Poděkování**

Rád bych poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Doc. Ing. Jitce Podjuklové CSc, a paní Ing. Daniele Pavelkové za poskytnuté rady při zpracování bakalářské práce a pomoc při vyhodnocování experimentálních prací.

Zdeněk Jurásek